

УДК 681.586

## УСТРОЙСТВО РЕГИСТРАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НА БАЗЕ МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ДАТЧИКОВ

АНТУНЕВИЧ А. Л., ИЛЬЁВ И. Г., КРИВЕЦ А. Ф.

Военная академия Республики Беларусь  
(г. Минск, Республика Беларусь)

E-mail: antunart@yandex.ru

**Аннотация.** В докладе рассмотрены вопросы разработки, реализации и исследования устройства регистрации параметров движения механических объектов. В качестве чувствительного элемента использован инерциально-измерительный модуль MPU6050, включающий трехосевые гироскоп и акселерометр, выполненные по технологии микроэлектромеханических систем.

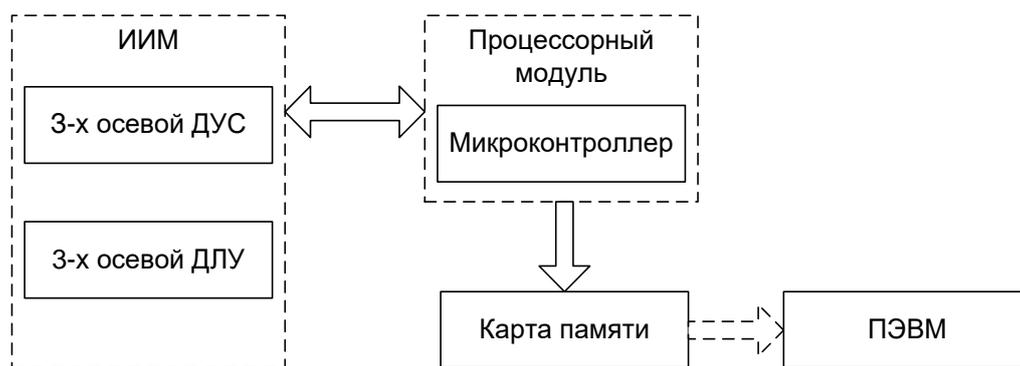
**Abstract.** In the report questions of working out, embodying and examination of the device of recording of parameters of a motion of mechanical objects are considered. As a sensing device the inertial-measuring module MPU6050 including a three-axial gyroscope and an accelerometer, executed on technology of microelectromechanical systems is used.

В ходе экспериментальных исследований динамики механических объектов возникает задача фиксации параметров их движения. Источниками первичной информации выступают, как правило, различного рода датчики. В частности, при исследовании механических систем, интерес представляет информация о перемещении, угловой скорости и ускорении объектов.

В настоящее время широкое применение нашли инерциальные измерительные модули (ИИМ) на базе микроэлектромеханических систем (МЭМС), включающие в свой состав две триады датчиков угловой скорости (ДУС) и датчиков линейных ускорений (ДЛУ) [1]. К основным достоинствам, отличающим использование МЭМС-датчиков, относятся: малые массогабаритные характеристики, низкое энергопотребление, высокая надежность, стойкость к внешним воздействиям, относительно низкая стоимость.

Данные с датчиков ИИМ записываются в выделенные регистры микросхемы ИИМ. Для конфигурации ИИМ, а также считывания и первичной обработки данных, поступающих с датчиков, используют процессорный модуль, основой которого является, как правило, микроконтроллер [2].

Предлагаемый вариант структурной схемы устройства регистрации параметров движения механических объектов на базе МЭМС-датчиков представлен на рис. 1.



**Рис. 1.** Структурная схема регистратора параметров движения механических объектов на базе МЭМС-датчиков

Процесс получения данных с помощью устройства, построенного по приведенной схеме (рис. 1.) включает два этапа: запись первичных значений исследуемых физических величин на карту памяти и их окончательную обработку с помощью программного обеспечения для математического анализа на персональной электронной вычислительной машине (ПЭВМ). Достоинствами такого подхода являются простота, надежность и высокая частота регистрации данных, основным недостатком –

отсутствие возможности наблюдения за значениями исследуемых параметров в процессе их регистрации.

Предлагаемое устройство для записи угловых скоростей и линейных ускорений механических объектов реализовано на основе доступных компонентов:

ИИМ – GY-521 на микросхеме MPU6050;

микроконтроллер – STM32F103C8T6 на отладочной плате;

карта памяти – карта типа SD емкостью 1 Гб.

Связь модуля GY-521 с микроконтроллером осуществляется по интерфейсу I2S, микроконтроллера с картой памяти – SPI. Код программного обеспечения для микроконтроллера STM32F103C8T6 написан в среде Arduino IDE.

Внешний вид компонентов устройства представлен на рисунке 2, готового устройства со снятой верхней крышкой – на рисунке 3.

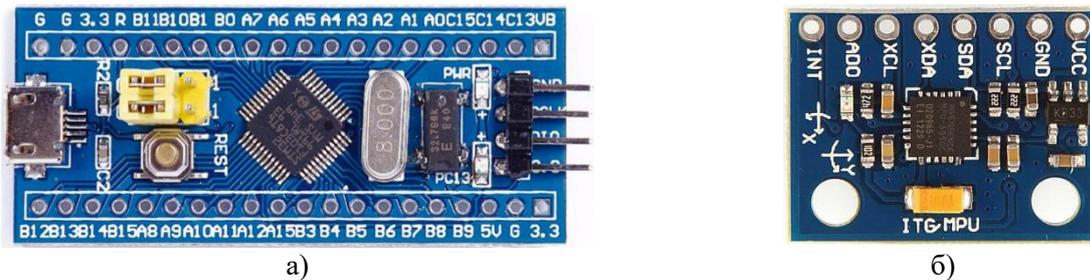


Рис. 2. Внешний вид компонентов устройства: а – отладочная плата микроконтроллера STM32F103C8T6, б – ИИМ GY-521



Рис. 3. Внешний вид устройства регистрации параметров движения механических объектов (со снятой верхней крышкой)

ИИМ GY-521 жестко закреплен на корпусе устройства, остальные компоненты размещены в поролоновом вкладыше, что обеспечивает их защиту от механических повреждений. Питание устройства производится от малогабаритного литий-ионного аккумулятора напряжением 3,7 В емкостью 2 А ч через стабилизатор напряжения на 3,3 В, размещенный на отладочной плате микроконтроллера STM32F103C8T6.

Кроме того, предусмотрена световая индикация процесса функционирования устройства: при включенном питании и нормальной работе устройства светодиодный индикатор мерцает с частотой 2 Гц, при заполнения карты памяти – 1 Гц, в случае неисправной связи между компонентами устройства, либо неисправности (необнаружении) карты памяти – непрерывно горит.

Для исследования характеристик и калибровки датчиков разработанного устройства построена лабораторная установка. Основой установки является датчик механических колебаний в двух плоскостях с возможностью регулировки амплитуды и частоты колебаний. Экспериментальные исследования устройства регистрации параметров движения механических объектов показали наличие шумовой составляющей в данных ИИМ (рисунок 4).

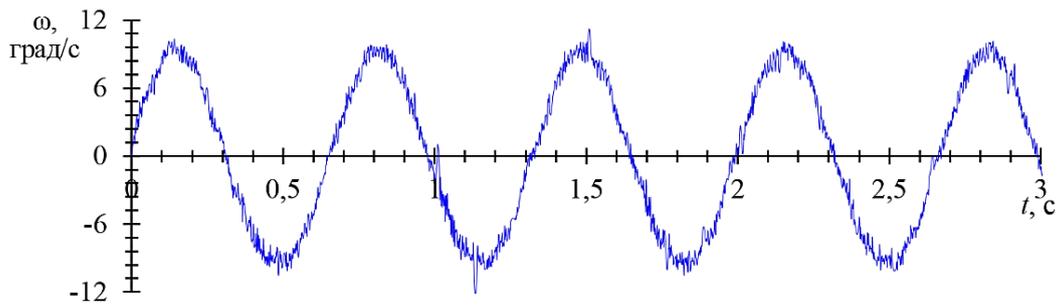


Рис. 4. Фрагмент записи данных угловой скорости (заданная частота колебаний 1,5 Гц)

Опытным путем установлено, что фильтрацию получаемых с датчиков данных целесообразно проводить в два этапа: на первом этапе осуществлять очистку полезного сигнала от шумов с помощью цифрового фильтра нижних частот (ФНЧ), встроенного в ИИМ (рисунок 5); на втором этапе использовать дополнительные меры, к примеру, фильтрацию с помощью фильтра с бесконечной импульсной характеристикой (БИХ) (рисунок 6).

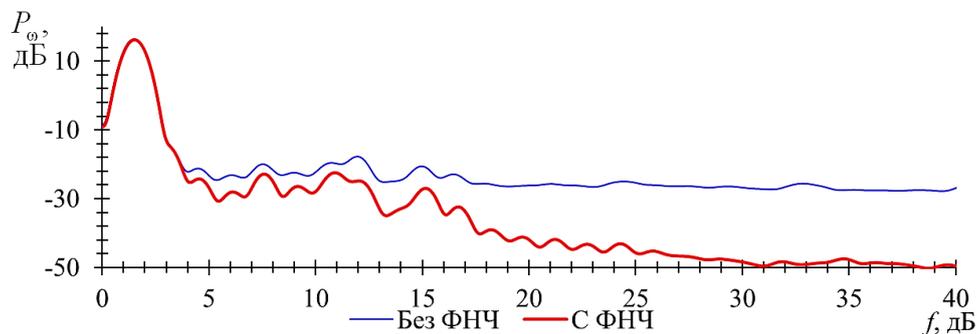


Рис. 5. Результаты спектрального анализа данных угловой скорости

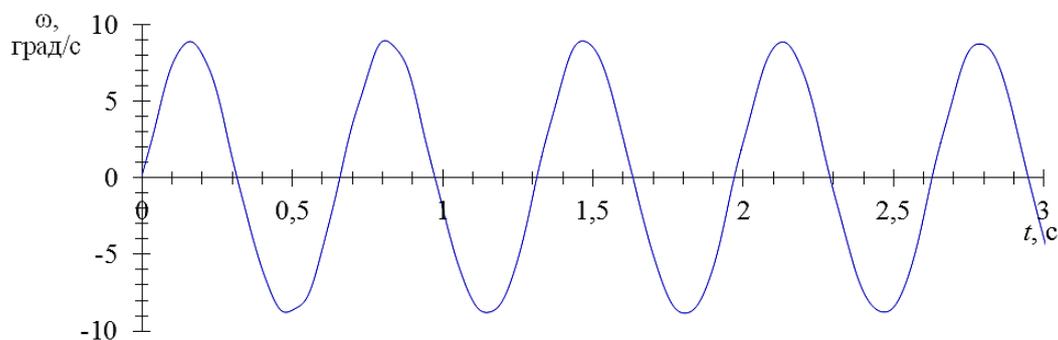


Рис. 6. Результаты двухэтапной фильтрации фрагмента данных угловой скорости (с использованием ФНЧ и БИХ-фильтра)

Таким образом, применение МЭМС-датчиков способствовало реализации простого и доступного по стоимости устройства регистрации параметров движения механических объектов. Использование указанного устройства совместно с ПЭВМ позволяет проводить анализ амплитудных и частотных свойств исследуемых объектов или системы тел.

Дальнейшее совершенствования разработанного устройства направлено на реализацию возможности по его быстрой конфигурации (выбору интересующего датчика, заданию пределов измерения, настройке частоты среза ФНЧ) непосредственно перед началом работы путем задействования порта последовательного ввода-вывода микроконтроллера (UART). Кроме того, интерес представляет реализация адаптивного задания пределов измерения физической величины, в зависимости от характера ее изменения в режиме реального времени. Указанные возможности направлены на повышение точности измерения исследуемой физической величины и достижение наивысшей возможной частоты регистрации данных.

**Список использованных источников**

1. Сахарук, Д. А. Исследование ошибок инерциального измерительного модуля на микроэлектромеханических датчиках / Д. А. Сахарук, А. Б. Сивашко // *Вестн. Воен. акад. Респ. Беларусь.* – 2010. – № 3. – С. 42–47.
2. Вопросы разработки инерциальных пешеходных навигационных систем на основе МЭМС-датчиков [Электронный ресурс] / П. С. Маринушкин [и др.] // *Наука и Образование. МГТУ им. Н. Э. Баумана. Электрон. журн.* – 2015. – № 6. – С. 157–173. – Режим доступа: [https://rus.neicon.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/17610/SEBMSTU\\_Jun2015\\_157to173.pdf?sequence=1](https://rus.neicon.ru/xmlui/bitstream/handle/123456789/17610/SEBMSTU_Jun2015_157to173.pdf?sequence=1). – Дата доступа: 19.01.2019.